触觉的情绪功能及其神经生理机制*

杨廙　李东　崔倩　蒋重清

(辽宁师范大学心理学院, 大连　116029)

摘　要　触觉是个体探知外部世界的重要感觉通道，其情绪功能在维系社会联结、促进人际沟通等方面具有重要作用。触觉的情绪功能一方面表现为通过触觉动作本身直接传递情绪信息，另一方面则是通过增强注意和锐化社会评价的方式促进个体对跨通道情绪信息的加工。神经生理学研究发现，触觉情绪信息由无髓鞘C纤维介导，经脊髓丘脑束通路投射于岛叶(头面部触觉情绪信息的传导路径尚不明确)，并在杏仁核、内侧前额叶、后颞上沟等“社会脑”网络的核心区域被精细加工。未来还应对触觉情绪的人际依赖性、文化独特性、操作标准化，及其在神经水平上与感觉-辨识系统间的关联性与独立性做深入探究。

关键词　人际触觉, C触觉, 情绪, 跨通道, 神经生理机制

1 引言

皮肤是人体分布最广也是最早发育的感觉器官(Lagercrantz & Changeux, 2009)。通过皮肤的触感觉，我们不仅可以获得有关物体形状、大小、纹理等感觉辨识(discriminative)信息，还能在人际沟通间获得情绪信息，二者共同构成了完整的触觉系统。研究表明，2个月的婴儿即可在神经水平上区分出上述两类触觉信息，并以接近成人的方式对其进行编码(Jönsson et al., 2018)。虽然多数情况下，人际交往过程中发生的触觉动作会同时包含以上两类信息，但正是因为握手、抚摸等动作中蕴含的情绪信息而使其在社交中具有了重要意义，因而在社会心理学框架下的触觉研究中，研究者更关注触觉的第二子系统——动机-情绪(motivational-affective)系统(Cascio et al., 2019; Morrison et al., 2010)。

在日常生活中，人们对触觉动机-情绪系统的功能已有所体会，依恋研究(Beltrán et al., 2020; Krahé et al., 2018)、亲密关系研究(Bendas et al., 2017; Long et al., 2021)、自闭症人群的社交障碍

收稿日期: 2021-04-25

* 辽宁省教育厅自然科学基金重大攻关项目(LZ2020001); 辽宁省教育厅自然科学青年育苗项目(LQ2020028)。

通信作者: 蒋重清, E-mail: jzqcjj@hotmail.com; 崔倩, E-mail: cuiqian119@163.com

研究(Cascio et al., 2016; Kaiser et al., 2016)等均为此提供了有力证据。而且有研究表明，相较于面部表情、身体姿态等其他非言语信息，个体更倾向以触摸的方式表达“爱”、“同情”等与建立、维系亲密关系有关的情绪信息(App et al., 2011)。概括来说，人际触觉的情绪功能通过两个渠道来实现，其一为直接通过触觉动作本身传递情绪信息，另一个则是通过触觉对其他感觉通道情绪知觉的影响来间接实现。

2 触觉情绪信息的直接传递

日常交往中，人们常会通过握手、拥抱等来自触通道的社交方式表达情绪，触通道传递情绪信息的类型及其准确性如何，是研究者们致力探究的话题。此类研究通常会采用情绪知觉准确性范式加以考察。

在触通道情绪知觉准确性范式中，被试作为“知觉者”，在屏蔽视听通道社交线索情况下，通过迫选的方式识别“表达者”触摸动作中的情绪信息，并由实际准确率与随机概率间的差异反映知觉准确性。研究表明，触通道可以有效传递情绪效价和唤醒度信息, 但准确率会因情绪类别而有所差异(Eid & Osman, 2016)。

例如，Hertenstein等人(2006)用挂毯将彼此陌生的“知觉者”与“表达者”隔开，“知觉者”将手臂置于“表达者”一侧以保证触觉动作发生于“知觉者”视野外，且实验结束前双方无言语交流。研究中,“表达者”以自然方式触摸“知觉者”手臂,并在每次触摸动作中随机传递六种基本情绪(愤怒, 恐惧, 愉快, 悲伤, 厌恶, 惊奇)、三种亲社会情绪(prosocial emotion)(爱, 感激, 同情)和三种自我聚焦情绪(self-focused emotion)(尴尬, 嫉妒, 骄傲)中的一种；迫选结果表明，“知觉者”可以有效识别愤怒、恐惧、厌恶等三种基本情绪，和爱、感激、同情等三种亲社会情绪，准确率介于48%至83%之间，显著高于随机概率；而那些不能被有效识别的情绪其识别准确率介于18%至30%之间。类似地，McIntyre等人(2019)考察了被试对熟人的触觉情绪类型知觉准确性，情绪词迫选结果表明，被试能有效识别愉快、悲伤、爱、平静(calming)、感激、同情和欢乐(amusement)等情绪；开放式问卷结果揭示，被试更偏好以触摸的形式与他人交流爱和平静信息。

由此可见，虽然触觉通道在传递基本情绪的准确性上可能不及视、听通道(Schirmer & Adolphs, 2017)，但对“爱”、“感激”、“同情”等社交情绪(social emotion)的传递更具优势。这反映了触通道情绪交流的特异性，同时也体现了触觉情绪信息在建立社交联结(social bonding)、促进合作关系等社交过程上的重要意义。

另外，由于镜像神经元的作用，个体在观看视通道呈现的人际触觉材料时，会引起与真实触觉体验相似的神经及行为反应(Morrison, Bjrnsdotter, & Olausson., 2011)，并借助于心理理论(theory of mind)和共情机制去理解(knowing)、感知(feeling)其中的情绪信息(Lee Masson et al.,

2018; Lee Masson et al., 2019; Peled-Avron et al., 2016)。因此，触觉情绪信息的视觉加工成为一个新兴领域。Lee Masson 和 Op de Beeck(2018)首次建立了类似面孔表情库的"社交情绪触觉图片库(socio-affective touch expression database, SATED)"， 该库中的触觉图片在情绪效价和唤醒度两维度上均具有统计学意义上可接受的信、效度，表明触觉中的情绪效价和唤醒度信息亦可通过视觉材料被有效传递，从另一角度为触通道的情绪传递功能提供了佐证。

3 触觉促进跨通道的情绪加工

人际触觉信息本身所具有的情绪意义及社交属性，能为个体跨通道的情绪加工提供社会性的情境背景，并通过增强个体对跨通道情绪信息的注意，及锐化(sharpen)个体对这些情绪线索的社会性评价，使其更高效的加工跨通道的情绪信息。

3.1 增强注意

情绪信息具有重要的社交功能，能有效反映个体的趋避态度，因而对多通道情绪信息的注意在社交中显得尤为重要。

Schirmer 和 Gunter(2017)比较了被试在手臂、手心和无轻抚处理的三种条件下，由情绪性(惊讶)语音"啊"和中性语音"啊"诱发晚期正电位(late positive potential, LPP)的差异波，发现被试在"手臂处被轻抚"条件下的差异波最大。LPP 反映被试的注意分配投入和唤醒程度(Amrhein et al., 2004; Diéguez-Risco et al., 2013)，鉴于"轻抚手臂处"是常用的情绪性触摸形式(Taneja et al., 2019)，因而这一结果表明人际触摸中的情绪信息增强了个体对语音信号中情绪信息的注意。

在另一项研究中，Schirmer 等人(2018)结合眼动技术考察了以图片形式呈现的人际触觉信息对个体加工后续目标面孔图片的影响，结果表明，在触觉图片启动条件下，被试对后续目标面孔注视时间更长，且随着目标面孔呈现时间的增长，表现出对情绪性面孔(而非中性面孔)的注意偏好。这一结果将影响情绪性面孔加工的情境从已知的视觉背景(visual scene)(Ngo & Isaacowitz, 2015)、情绪性语音(Rigoulot & Pell, 2014)等视、听线索扩展至触觉领域。采用相同的触觉图片材料，Schirmer 和 McGlone(2019)还发现，相较于未发生肢体接触的人际互动图片，被试在观看有肢体接触的人际互动图片时会诱发更大的 LPP。虽然上述两项研究中未采用直接的肢体接触作为触觉诱发条件，但鉴于个体在观看触觉图片时亦能引起与真实触觉体验相似的神经及行为反应，因而也可认为个体表现出的对视通道情绪信息的注意偏好及 LPP 波幅增加所反映的注意增强是由触觉信息所致。

3.2 锐化社会评价

人际触觉信息不仅有助于增强个体对环境中跨通道情绪信息的注意，还可锐化个体对这些情绪信息的社会评价，使我们在主观上更易明确知觉到他人情绪表达中社交信息的趋避属性，进而帮助我们更有效的知觉他人的社交意图、建立准确的第一印象(Schirmer et al., 2016)。

研究表明，愉悦的人际触摸可诱发内源性催产素的释放，而触摸后催产素浓度的增加，可增强奖赏系统和社会认知系统的神经活动，进而增强触觉信息的主观愉悦感(Chen, Becker, et al., 2020; Chen, Li, et al., 2020; Portnova et al., 2020)。由于触觉的情绪意义和社交属性为跨通道的情绪加工提供了重要的社会性背景，因而可以预见，通过补充外源性催产素，可以增强人际触觉在影响跨通道情绪线索社会知觉过程中，激素机制的中介作用。

例如，Ellingsen 等人(2014)在研究中发现，被试对人际轻抚动作中愉悦度的评价显著高于等强度的机械振动，且在鼻喷催产素处理后，与机械振动相比，被试在人际轻抚条件下对中性、高兴面孔中友善度(friendliness)和吸引力(attractiveness)的评价显著增高，而对愤怒面孔友善度和吸引力的评价显著降低，该结果表明，愉悦的人际轻抚在内源性和外源性催产素累加的中介作用下，锐化了个体对表情信息的社会评价，凸显了中性、积极表情和消极表情在社交中分别代表的趋避意义。

类似地，在以肢体接触图片为触觉诱发条件的研究中，相较于未发生肢体接触的人际互动图片，被试在评价有肢体接触的人际互动图片中的人物时，认为其情绪效价更积极、唤醒度更高，对其喜爱度(likeability)也更高(Schirmer et al., 2015)，且由于研究采用的触觉图片与控制组图片在人物的身体姿态、物理距离上保持一致，因而只有少数被试意识到了实验中对触觉变量的操作，而在剔除掉这些被试数据后，触觉效应依然存在，表明该效应的发生可能并不依赖个体的意识。

4 触觉情绪功能的神经生理机制

Vallbo 等人(1993)首次在人类前臂有毛肌肤上发现了特异性传递触觉情绪信息的神经纤维，开启了深入精准研究人际触觉情绪功能神经生理机制的征途。本部分将按照触觉情绪信号被皮表感受器接收，经脊髓传导，直至在相应脑网络中被精细加工的顺序，从外周感受器及传入纤维的响应特征、脊髓传导通路和脑机制三个方面，对触觉情绪功能的神经生理机制进行介绍。

4.1 外周感受器及传入纤维的响应特征

皮肤中不同亚型的低阈限机械性感受器(low-threshold mechanoreceptors, LTMRs)是触觉信息传递的结构基础。根据传入纤维的类型，研究者将触觉刺激中由无髓鞘C纤维介导的情绪性(affective)部分称为C触觉(C-tactile, CT)，将由有髓鞘Aβ纤维介导的对物理信息敏感的辨识性部分称为Aβ触觉，二者共同构成了完整的触觉系统(McGlone et al., 2014)。其中，受C纤维支配的低阈限机械性感受器(C-LTMRs)对触觉中的情绪信息进行特异性编码，并在皮肤受到持续轻抚时得到最大程度的激活(周丽丽 等, 2017)。

与遍及皮表的Aβ纤维不同，传导触觉情绪信息的C纤维仅被发现于有毛发生长的肌肤上(Morrison, Löken，et al., 2011)，响应条件为接近人体皮肤温度的、速度介于1~10cm/s的持续轻柔抚触(Ackerley et al., 2014; Cole et al., 2006; Löken et al., 2009)。研究表明，个体对真实体验的C触觉，及视觉材料中作用于他人身体的C触觉中愉悦度的评价均受抚触速度调节，愉悦度评价与抚触速度的关系呈倒U型曲线，评价峰值在3cm/s的抚触速度处(Lee et al., 2018; Sehlstedt et al., 2016)。

综合考虑C纤维的分布特点、响应条件及实验操作的便捷性，研究者通常将C触觉的操作定义规定为“作用于被试手臂的、速度为3cm/s的轻柔抚触”(Taneja et al., 2019)，但由于手臂处同时分布有Aβ纤维，因而此操作也不算纯粹(pure)的C触觉刺激，还需通过在无C纤维、而仅有Aβ纤维分布的手心施以相同形式的触觉刺激，或在手臂施以不能引起C纤维响应的快速(大于10cm/s)抚触刺激等作为对照条件，通过统计上的处理，获得单纯C触觉功能的证据。

4.2 脊髓传导通路

研究者们普遍认为，触觉情绪信息与痛觉、温度觉、瘙痒感(itch)等经 C 纤维介导的皮肤觉信息具有类似的脊髓传导通路，均投射在起自脊髓浅层的脊髓丘脑束(spinothalamic tract, STT)通路中(华庆平,罗非, 2007; Craig, 2002)。

Anderw(2010)考察了小鼠脊髓灰质板层 I (lamina I)上广动力范围(wide dynamic range, WDR)投射神经元(projection neurons)在不同刷击速度(6.6~126cm/s)下的放电反应，发现低速(6.6~20.4cm/s)刷击是引起其放电的最有效刺激形式，放电峰值(peak discharge)出现于 9.2cm/s，峰值过后放电频率随刷击速度的增加呈指数下降，这一放电模式符合 C 纤维的响应特征，因而，该结果表明，脊髓灰质板层 I 的投射神经元特异性的接受由 C 纤维支配的低阈限机械性感受器(C-LTMRs)的信息输入，为由 C 纤维传递的触觉情绪信息最初投射于脊髓浅层提供了证据。然而，最近的一项研究却发现，靶向阻断人类被试起自板层 I 的脊髓丘脑束(L1-STT)，虽然能极大影响个体对温度、疼痛和瘙痒等皮肤觉信息的感知，但触觉情绪信息的加工却未因此受损

(Marshall et al., 2019)，因而触觉情绪信息可能存在其他的脊髓传导通路。

相较于尚存争议的脊髓丘脑束传导通路(Marshall & McGlone, 2020)，以 Aβ纤维功能受损患者为对象的研究一致表明，触觉情绪信息经脊髓传导后的皮层投射，绕过了初级体感皮质(primary somatosensory cortex)而直接激活岛叶(Olausson et al., 2002; Olausson et al., 2008)。因而虽然证据尚不充分，但触觉情绪信息的脊髓传导通路可能表现为，信息经 C 纤维投射至脊髓浅层，经脊髓丘脑束上行，最终激活岛叶，这反映了一种特殊的、与触觉辨识性信息加工截然不同的情绪加工路径。但需要说明的是，现有的触觉情绪信息的脊髓传导通路研究中，均以分布于被试手臂、大腿或其他躯体处的皮肤作为信号传入的起点，尚未涉及头面部的研究。我们推测头面部触觉情绪信息可能与同样经 C 纤维介导的头面部痛觉具有类似的传导路径，如三叉丘脑束(trigeminothalamic tract)(Henssen et al., 2016)。

4. 3 脑机制

4. 3. 1 触觉情绪信息加工的相关脑区

虽然神经生理学的研究已表明，触觉情绪信息特异性的由C纤维介导，但在日常经验中，我们亦可从缺乏C纤维的手心处获得愉悦的触觉体验，为了厘清这一问题，McGlone等人(2012)采用正电子断层扫描技术(positron emission tomography, PET)考察了被试在富含C纤维的手臂和缺乏C纤维的手心处接受缓慢轻抚时的皮层活动。行为结果表明，两类轻抚刺激的主观愉悦度无显著差异；但皮层活动差异显著。其中，相较于静压的基线条件，手心处的触觉输入会诱发初、次级体感皮质和中前侧岛叶(mid-anterior insular)皮质的激活，表明手心处的触觉愉悦感来自于岛叶对体感信息的再表征(re-representation)(Craig, 2008)，因而其加工过程依赖于先前的感知觉经验；而相较于静压的基线条件，手臂处的触觉输入则诱发了后岛叶(posterior insular)皮质和中前侧(mid-anterior)眶额皮质(orbitofrontal cortex, OFC)的强烈激活，表明该动作中的情绪信息由边缘系统(limbic system)处理，边缘系统在种系发生上属于较为古老的脑结构，因而该过程反映了一种出于本能的、非后天习得的情绪加工机制。该研究揭示了触觉子系统间具有双分离的加工机制，也提示了在无C纤维分布的皮肤区域，个体可以依据先前的触觉经验，对由Aβ纤维介导的速度、力度等辨识性触觉信息进行情绪感知，使得无C纤维分布的皮肤区域在一定程度上也具备了接收触觉情绪信息的功能。但该研究中的触觉刺激由机器施加，动作本身缺少了人际属性，因而其结果不足以反映C触觉情绪加工时神经反应的全貌。

Gordon等人(2013)采用fMRI技术考察了由真人施加的C触觉引起的皮层反应，发现除后岛叶皮质外，后颞上沟(posterior superior temporal sulcus, pSTS)、内侧前额叶皮质(medial prefrontal cortex, mPFC)、背侧前扣带回皮质(dorsal anterior cingulate cortex, dACC)等更广泛的情绪及社会

认知区域均在C触觉刺激下被激活，进一步以内侧前额叶/背侧前扣带回为种子点的功能连接分析表明，岛叶和杏仁核也共同参与了此过程。这些脑区同属于“社会脑”网络，参与着对刺激中社会相关性(social relevance)、社会奖赏性(social reward)和社交情绪信息的编码(Adolphs, 2009; Amodio & Frith, 2006; Xu et al., 2009)。该结果将我们对“社会脑”网络功能的理解从视觉扩展到了触觉领域，也在神经生理水平上为“皮肤即社交器官(skin as a social organ)”假说(Morrison et al., 2010)提供了证据。

与大多数仅持续几分钟的短时程脑成像研究不同，Sailer等人(2016)采用fMRI技术考察了被试在持续40分钟轻抚下的皮层活动情况，除发现与以往短时程研究中类似的情绪处理区的激活，还发现随着时程增长，奖赏回路中的眶额皮质和壳核(putamen)的激活强度逐渐增大，后岛叶与壳核、尾状核(caudate)等纹状体(striatum)区域及中扣带回(middle cingulate)区域的功能连接也逐渐增强，该结果反映了奖赏系统对长时程轻抚刺激中愉悦信息的持续监测，为日常经验中人们乐于寻求长时程触觉体验(如，按摩)、维持长久的亲社会性人际触觉互动提供了神经水平上的解释。

4.3.2 触觉情绪信息加工的脑电生理机制

虽然目前有关触觉情绪加工的脑电研究仍较为鲜见，但在有限的研究中，也发现了一些可能反映此过程的神经活动指标。

例如，Singh等人(2014)研究发现，相较于不愉悦的触觉体验，个体在接受令人愉悦的柔软织物抚触时，在顶叶脑区会出现显著衰减的beta振荡。类似地，von Mohr等人(2018)在研究中对比了被试接受C触觉、Aβ触觉和静息态下的神经振荡情况，在C触觉处理下，也同样观察到了个体顶叶脑区beta振荡的衰减。考虑到C触觉因其物理特征而具有的愉悦属性(Ree et al., 2019)，这两项研究结果可能表明了顶叶脑区的beta振荡与触觉信息的愉悦表征有关。

此外，von Mohr等人还发现，相较于Aβ触觉和静息态，个体在接受C触觉处理时，其额、顶、颞、枕等多个脑区出现了theta振荡的衰减，类似的theta衰减现象也出现在冥想(meditation)、分心(distraction)等情绪调节任务中 (Uusberg et al., 2014; Yu et al., 2011)。结合以往研究中观察到的“轻抚”等C触觉动作在人际互动中的情绪调节功能(Morrison, 2016a; Pawling et al., 2017)，因而额、顶、颞、枕等多脑区的theta振荡可能反映了C触觉中与情绪调节机制有关的神经生理特征。

5 小结与展望

上文综述了触觉信息在单通道和跨通道人际互动中的情绪功能及其神经生理机制，展现了

触觉情绪信息对于建立和维系积极社交关系的重要意义，及其有别于触觉辨识信息的独特的神经编码机制。但无论是相较于面孔、语音等视听通道的情绪信息，还是相较于触通道中的辨识信息，触觉情绪信息的研究均属起步阶段，未来还有许多问题亟待解决。

首先，触通道信息的解读具有很强的人际情境依赖性。一些行为证据表明，触觉中的愉悦情绪只有在双方均为女性时才能被准确识别，而愤怒情绪只有在双方至少有一名男性时才能被准确识别(Hertenstein et al., 2009)；嫉妒(envy)、骄傲(pride)等自我聚焦情绪只有在双方为伴侣关系时方能被准确识别(Thompson & Hampton, 2011)。最近的一项 fMRI 研究也表明，杏仁核、眶额皮质、初级和次级体感皮质对触觉刺激的神经反应均受接触双方熟悉程度的调节(Suvilehto et al., 2020)。可以预见，触觉信息加工中，还存在更丰富复杂的表达者与接受者间的交互作用，因而性别组合、亲缘关系、熟悉程度等人际因素需要纳入考察范围，这些人际因素如何对特定类别情绪知觉准确性产生差异性影响，及其背后的认知机制等问题仍需进一步研究。

其次，人际触觉信息在建立和维系社会联结、促进社会交往等社会性方面的重要作用已得到广泛认同(Brauer et al., 2016; Dunbar, 2010; von Mohr et al., 2017)，但受传统面孔情绪知觉研究的影响，现有的人际触觉情绪研究仍多聚焦于六种基本情绪，即实验者对情绪信息的考察范围可能限制了被试在传递或识别信息时的表现。在未来研究中应加大对爱、感激、同情等亲社会情绪和内疚、羞耻、尴尬、自豪等自我意识情绪等复合情绪的考察力度，并结合中国人含蓄、内敛的行事风格，制作符合中国社交礼仪的人际触觉情绪图片库，以展现中国文化背景下，触觉情绪知觉的独特性。

第三，如前所述，个体在发出触觉动作时，可以将种类丰富的情绪信息蕴含其中，但因触通道的特殊性，这些情绪信息往往“隐藏”于动作中，不如面孔、语音信息那样易于标准化处理，因而在跨通道的触觉情绪功能研究中，研究者常采用由物理特征决定的、动作本身即蕴含愉悦属性的“手臂处轻抚”作为触觉条件，在生态效度上有所缺失，其结果也不足以反映跨通道中触觉情绪功能的全貌。Teyssier 等人(2020)初步探索了触觉情绪效价和唤醒度与触觉动作的力度(0.3N, 1.2N)、速度(3.8cm/s, 16cm/s)和在手臂处的触摸距离(5cm, 20cm)等物理量间的关系，表明触觉情绪效价可由力度和速度预测，而唤醒度可由力度和触摸距离预测。但该研究对各物理参数仅做了简单的划分，未来研究中或许可借鉴心理物理学的方法，先对表达者不同情绪效价的触觉动作中速度、力度、触摸距离、触摸时程等进行定量分析，并结合对施力模式(如，拍、摸)、施力部位的考察，确立触觉情绪效价信息的操作定义，进而扩展至其他更具体的情绪类别。

第四，虽然在生理结构上，触觉感觉-辨识系统和动机-情绪系统的信息经不同的神经纤维介导，但在神经机制上，感觉通路与情绪环路间的关系绝非彼此独立。Morrison(2016b)对已公开发表的17篇文献中共计291个样本量的神经成像数据元分析表明，触觉情绪信息和辨识信息在加工脑区和脑网络上存在分离，但其均与次级体感皮质存在协同激活(co-activation)，表明触觉

加工网络中对来自于两个子系统中的信息具有不同的功能偏向，但在神经和功能通路上并非彼此独立。岛叶和顶叶躯体感觉皮质，分别作为触觉情绪信息和辨识信息的首个皮层投射区，其二者间的神经联系也表明，两个子系统间必然存在着相互作用(Olausson et al., 2008)。另外，以触觉感觉-辨识系统受损（Aβ纤维功能永久性丧失）患者为对象的研究表明，虽然患者报告其在日常生活中无法获得鼻子以下的触觉感觉体验，但在迫选任务中，却可准确定位毛刷轻抚的位置（手臂或大腿），正确率为97%，表明以C纤维为结构基础的触觉动机-情绪系统也具有一定程度的感觉辨识功能（Björnsdotter et al., 2009）。考虑到手臂处和脸颊处的轻抚可能代表着不同的动机-情绪信号，因而可以假设，上述研究中发现的触觉动机-情绪系统的定位功能，或许不仅仅是在触觉感觉-辨识系统功能丧失下的代偿性反应，而是具有重要的适应性功能，该功能可以帮助我们有效知觉不同位置触觉信号中的情绪和动机意义，从而做出正确的社会性反应。未来研究中，还应充分挖掘触觉加工的脑成像数据，采用激活可能性估计(Activation Likelihood Estimation, ALE)元分析和脑连通性元分析(Meta-analytic Connectivity Modeling, MACM)等方法，对两个子系统间的关联性与独立性做进一步深入考察。

此外，虽然现有研究发现了“社会脑”是参与触觉情绪信息编码的主要脑网络，但神经活动的时程特点仍不明确，未来研究中可借助EEG/ERP技术，在更高的时间分辨率上阐明触觉情绪信息加工的神经机制。另外，由于情绪加工涉及下丘脑、基底神经核群、边缘系统、前额叶皮层等多个脑区间的动态交互，具有多个传导环路，这些情绪环路的功能由一种或多种神经递质实现，并通过调节神经递质的有效性实现对情绪信息加工的的复杂调节。因而，从神经化学的角度，开展与触觉情绪功能有关的神经内分泌研究，也将有助于我们更全面的理解触觉情绪信息加工的神经环路及其生化机制。

参考文献

华庆平，罗非. (2007). 第二触觉系统：编码触觉情绪成分的C纤维. *生理科学进展, 38*(4), 323–326.

周丽丽，姚欣茹，汤征宇，任巧悦，吕雪靖，胡理. (2017). 触觉信息处理及其脑机制. *科技导报, 35*(19), 37–43.

Ackerley, R., Wasling, H. B., Liljencrantz, J., Olausson, H., Johnson, R. D., & Wessberg, J. (2014). Human C-tactile afferents are tuned to the temperature of a skin-stroking caress. *Journal of Neuroscience*, *34*(8), 2879–2883.

Adolphs, R. (2009). The social brain: Neural basis of social knowledge. *Annual Review of Psychology*, *60*, 693–716.

Amodio, D. M., & Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: The medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews Neuroscience, 7*, 268–277.

Amrhein, C., Mühlberger, A., Pauli, P., & Wiedemann, G. (2004). Modulation of event-related brain potentials during affective picture processing: A complement to startle reflex and skin conductance response? *International Journal of Psychophysiology*, *54*(3), 231–240.

Andrew, D. (2010). Quantitative characterization of low-threshold mechanoreceptor inputs to lamina I spinoparabrachial neurons in the rat. *The Journal of Physiology*, *588*(Pt 1), 117–124.

App, B., McIntosh, D. N., Reed, C. L., & Hertenstein, M. J. (2011). Nonverbal channel use in communication of emotion: How may depend on why. *Emotion, 11*(3), 603–617.

Beltrán M.I., Dijkerman, H. C., & Keizer, A. (2020). Affective touch experiences across the lifespan: Development of the tactile biography questionnaire and the mediating role of attachment style. *PLoS ONE, 15*(10), e0241041. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241041

Bendas, J., Georgiadis, J. R., Ritschel, G., Olausson, H., Weidner, K., & Croy, I. (2017). C-Tactile mediated erotic touch perception relates to sexual desire and performance in a gender-specific way. *The Journal of Sexual Medicine*, *14*(5), 645–653.

Björnsdotter, M., Löken, L., Olausson, H., Vallbo, Å., & Wessberg, J. (2009). Somatotopic organization of gentle touch processing in the posterior insular cortex. *The Journal of Neuroscience*, *29*(29), 9314–9320.

Brauer, J., Xiao, Y., Poulain, T., Friederici, A. D., & Schirmer, A. (2016). Frequency of maternal touch predicts resting activity and connectivity of the developing social brain. *Cerebral Cortex*, *26*(8), 3544–3552.

Cascio, C. J., Lorenzi, J., & Baranek, G. T. (2016). Self-reported pleasantness ratings and examiner-coded defensiveness in response to touch in children with ASD: Effects of stimulus material and bodily location. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *46*(5), 1528–1537.

Cascio, C. J., Moore, D., & McGlone, F. (2019). Social touch and human development. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *35*, 5–11.

Chen, Y., Becker, B., Zhang, Y., Cui, H., Du, J., Wernicke, J., … Yao, S. (2020). Oxytocin increases the pleasantness of affective touch and orbitofrontal cortex activity independent of valence. *European Neuropsychopharmacology, 39*, 99–110.

Chen, Y., Li, Q., Zhang, Q., Kou, J., Zhang, Y., Cui, H., … Yao, S. (2020). The effects of intranasal oxytocin on neural and behavioral responses to social touch in the form of massage. *Frontiers in Neuroscience, 14*, 589878. https://doi.org/10.3389/fnins.2020.589878

Cole, J., Bushnell, M. C., McGlone, F., Elam, M., Lamarre, Y., Vallbo, Å., & Olausson, H. (2006). Unmyelinated tactile afferents underpin detection of low-force monofilaments. *Muscle Nerve*, *34*(1), 105–107.

Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(8), 655–666.

Craig, A. D. (2008). Interoception and emotion: A neuroanatomical perspective. In M. Lewis, J. M. Haviland-Jones, & L. Feldman Barrett (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 272–290). The Guilford Press, New York.

Diéguez-Risco, T., Aguado, L., Albert, J., & Hinojosa, J. A. (2013). Faces in context: Modulation of expression processing by situational information. *Social Neuroscience, 8*(6), 601–620.

Dunbar R. I. M. (2010). The social role of touch in humans and primates: Behavioural function and neurobiological mechanisms. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *34*(2), 260–268.

Eid, M. A., & Osman, H. A. (2016). Affective haptics: Current research and future directions. *IEEE Access, 4*, 26–40.

Ellingsen, D. M., Wessberg, J., Chelnokova, O., Olausson, H., Laeng, B., & Leknes, S. (2014). In touch with your emotions: Oxytocin and touch change social impressions while others' facial expressions can alter touch. *Psychoneuroendocrinology*, *39*, 11–20.

Gordon, I., Voos, A. C., Bennett, R. H., Bolling, D. Z., Pelphrey, K. A., & Kaiser M. D. (2013). Brain mechanisms for processing affective touch. *Human Brain Mapping, 34*(4), 914–922.

Hertenstein, M. J., Holmes, R., McCullough, M., & Keltner, D. (2009). The communication of emotion via touch.

Emotion, 9(4), 566–573.

Hertenstein, M. J., Keltner, D., App, B., Bulleit, B. A., & Jaskolka, A. R. (2006). Touch communicates distinct emotions. *Emotion, 6*(3), 528–533.

Henssen, D. J., Kurt, E., Kozicz, T., van Dongen, R., Bartels, R. H., & van Cappellen van Walsum, A. M. (2016). New insights in trigeminal anatomy: A double orofacial tract for nociceptive input. *Frontiers in Neuroanatomy*, *10*, 53. https://doi.org/10.3389/fnana.2016.00053

Jönsson, E. H., Kotilahti, K., Heiskala, J., Wasling, H. B., Olausson, H., Croy, I., … Nissilä, I. (2018). Affective and non-affective touch evoke differential brain responses in 2-month-old infants. *NeuroImage*, *169*, 162–171.

Kaiser, M. D., Yang, D. Y.-J., Voos, A. C., Bennett, R. H., Gordon, I., Pretzsch, C., … Pelphrey, K. A. (2016). Brain mechanisms for processing affective (and nonaffective) touch are atypical in autism. *Cerebral Cortex, 26*(6), 2705–2714.

Krahé, C., von Mohr, M., Gentsch, A., Guy, L., Vari, C., Nolte, T., & Fotopoulou, A. (2018). Sensitivity to CT-optimal, affective touch depends on adult attachment style. *Scientific Reports, 8*, 14544. https://doi.org/10.1038/s41598-018-32865-6

Lagercrantz, H., & Changeux, J. P. (2009). The emergence of human consciousness: From fetal to neonatal life. *Pediatric Research, 65*(3), 255–260.

Lee Masson, H., & Op de Beeck, H. (2018). Socio-affective touch expression database. *PLoS ONE*, *13*(1), e0190921. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190921

Lee Masson, H., Pillet I., Amelynck S., Van De Plas, S., Hendriks, M., Op de Beeck, H., & Boets, B. (2019). Intact neural representations of affective meaning of touch but lack of embodied resonance in autism: A multi-voxel pattern analysis study. *Molecular Autism, 10*(1), 1–14.

Lee Masson, H., Van De Plas, S., Daniels, N., & Op de Beeck, H. (2018). The multidimensional representational space of observed socio-affective touch experiences. *NeuroImage*, *175*, 297–314.

Lee, Y. S., Sehlstedt, I., Olausson, H., Jung, W. M., Wallraven, C., & Chae, Y. (2018). Visual and physical affective touch delivered by a rotary tactile stimulation device: A human psychophysical study. *Physiology and Behavior, 185*, 55–60.

Löken, L. S., Wessberg, J., Morrison, I., McGlone, F., & Olausson, H. (2009). Coding of pleasant touch by unmyelinated afferents in humans. *Nature Neuroscience, 12*(5), 547–548.

Long, Y., Zheng, L., Zhao, H., Zhou, S., Zhai, Y., & Lu, C. (2021). Interpersonal neural synchronization during interpersonal touch underlies affiliative pair bonding between romantic couples. *Cerebral Cortex, 31*(3), 1647–1659.

Marshall, A. G., & McGlone, F. P. (2020). Affective touch: The enigmatic spinal pathway of the C-tactile afferent. *Neuroscience Insights, 15*, 1–5.

Marshall, A. G., Sharma, M. L., Marley, K., Olausson, H., & McGlone, F. P. (2019). Spinal signalling of C-fiber mediated pleasant touch in humans. *eLife*, *8*, e51642.https://doi.org/10.7554/eLife.51642

McGlone, F., Olausson, H., Boyle, J. A., Jones-Gotman, M., Dancer, C., Guest, S., & Essick, G. (2012). Touching and feeling: Differences in pleasant touch processing between glabrous and hairy skin in humans. *European Journal of Neuroscience*, *35*(11), 1782–1788.

McGlone, F., Wessberg, J., & Olausson, H. (2014). Discriminative and affective touch: Sensing and feeling. *Neuron*, *82*(4), 737–755.

McIntyre, S., Moungou, A., Boehme, R., Isager, P. M., Lau, F., Israr, A., … Olausson, H. (2019). Affective touch communication in close adult relationships. *IEEE World Haptics Conference*, pp. 175–180.

Morrison, I. (2016a). Keep calm and cuddle on: Social touch as a stress buffer. *Adaptive Human Behavior and Physiology, 2*(4), 1–19.

Morrison, I. (2016b). ALE meta-analysis reveals dissociable networks for affective and discriminative aspects of touch. *Human Brain Mapping, 37*, 1308–1320.

Morrison, I., Bjrnsdotter, M., & Olausson, H. (2011). Vicarious responses to social touch in posterior insular cortex are tuned to pleasant caressing speeds. *Journal of Neuroscience, 31*(26), 9554–9562.

Morrison, I., Löken, L. S., Minde, J., Wessberg, J., Perini, I., Nennesmo, I, & Olausson, H. (2011). Reduced C-afferent fibre density affects perceived pleasantness and empathy for touch. *Brain, 134*, 1116–1126.

Morrison, I., Löken, L. S., & Olausson, H. (2010). The skin as a social organ. *Experimental Brain Research, 204*(3), 305–314.

Ngo, N., & Isaacowitz, D. M. (2015). Use of context in emotion perception: The role of top-down control, cue type, and perceiver's age. *Emotion, 15*(3), 292–302.

Olausson, H. W., Cole, J., Vallbo, Å., McGlone, F., Elam, M., Krämer, H. H., ... Bushnell, M. C. (2008). Unmyelinated tactile afferents have opposite effects on insular and somatosensory cortical processing. *Neuroscience Letters*, *436*(2), 128–132.

Olausson, H., Lamarre, Y., Backlund, H., Morin, C., Wallin, B. G., Starck, G., ... Bushnell, M. C. (2002). Unmyelinated tactile afferents signal touch and project to insular cortex. *Nature Neuroscience*, *5*(9), 900–904.

Pawling, R., Cannon, P. R., McGlone, F. P., & Walker, S. C. (2017). C-tactile afferent stimulating touch carries a positive affective value. *PLoS ONE*, *12*(3), e0173457.https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173457

Peled-Avron, L., Levy-Gigi, E., Richter-Levin, G., Korem, N., & Shamay-Tsoory, S. G. (2016). The role of empathy in the neural responses to observed human social touch. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, *16*(5), 802–813.

Portnova, G. V., Proskurnina, E. V., Sokolova, S. V., Skorokhodov, I. V., & Varlamov, A. A. (2020). Perceived pleasantness of gentle touch in healthy individuals is related to salivary oxytocin response and EEG markers of arousal. *Experimental Brain Research, 238*, 2257–2268.

Ree, A., Mayo, L. M., Leknes, S., & Sailer U. (2019). Touch targeting C-tactile afferent fibers has a unique physiological pattern: A combined electrodermal and facial electromyography study. *Biological Psychology, 140*, 55–63.

Rigoulot, S., & Pell, M. D. (2014). Emotion in the voice influences the way we scan emotional faces. *Speech Communication, 65*, 36–49.

Sailer, U., Triscoli, C., Häggblad, G., Hamilton, P., Olausson, H., & Croy, I. (2016). Temporal dynamics of brain activation during 40 minutes of pleasant touch. *NeuroImage*, *139*, 360–367.

Schirmer, A., & Adolphs, R. (2017). Emotion perception from face, voice, and touch: Comparisons and convergence. *Trends in Cognitive Sciences, 21*(3), 216–228.

Schirmer, A., & Gunter, T.C. (2017). The right touch: Stroking of CT-innervated skin promotes vocal emotion processing. *Cognitive Affective and Behavioral Neuroscience*, 17, 1129–1140.

Schirmer, A., & McGlone, F. (2019). A touching Sight: EEG/ERP correlates for the vicarious processing of affectionate touch. *Cortex*, *111*, 1–15.

Schirmer, A., Ng, T., & Ebstein, R. P. (2018). Vicarious social touch biases gazing at faces and facial emotions. *Emotion, 18*(8), 1097–1105.

Schirmer, A., Reece, C., Zhao, C., Ng, E., Wu, E., & Yen, S-C. (2015) Reach out to one and you reach out to many: Social touch affects third-party observers. *British Journal of Psychology, 106*(1), 107–132.

Schirmer, A., Wijaya, M. T., & Liu, S. (2016). The Midas effect: How somatosensory impressions shape affect and other-concern. In H. Olausson, J. Wessberg, I. Morrison, & F. McGlone (Eds.), *Affective touch and the neurophysiology of CT afferents* (pp. 283–299). New York: Springer.

Sehlstedt, I., Ignell, H., Wasling, H. B., Ackerley, R., & Croy, I. (2016). Gentle touch perception across the lifespan. *Psychology and Aging, 31*(2), 176–184.

Singh, H., Bauer, M., Chowanski, W., Sui, Y., Atkinson, D., Baurley, S., ... Bianchi-Berthouze, N. (2014). The brain's response to pleasant touch: An EEG investigation of tactile caressing. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, Article 893. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00893

Suvilehto, J. T., Renvall, V., & Nummenmaa, L. (2020). Relationship-specific encoding of social touch in somatosensory and insular cortices. *Neuroscience*. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.09.015

Taneja, P., Olausson, H., Trulsson, M., Svensson, P., & Baad-Hansen, L. (2019). Defining pleasant touch stimuli: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Research*, 1–16.

Teyssier, M., Bailly, G., Pelachaud, C., & Lecolinet, E. (2020). Conveying emotions through device-initiated touch. *IEEE Transactions on Affective Computing*. Advance online publication. https://doi.org/10.1109/taffc.2020.3008693

Thompson, E. H., & Hampton, J. A. (2011). The effect of relationship status on communicating emotions through touch. *Cognition and Emotion*, *25*(2), 295–306.

Uusberg, A., Thiruchselvam, R., & Gross, J. J. (2014). Using distraction to regulate emotion: Insights from EEG theta dynamics. *International Journal of Psychophysiology*, *91*(3), 254–260.

Vallbo, Å., Olausson, H., Wessberg, J., & Norrsell, U. (1993). A system of unmyelinated afferents for innocuous mechanoreception in the human skin. *Brain Research, 628*(1–2), 301–304.

von Mohr, M., Crowley, M. J., Walthall, J., Mayes, L. C., Pelphrey, K. A., & Rutherford, H. J. (2018). EEG captures affective touch: CT-optimal touch and neural oscillations. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, *18*(1), 155–166.

von Mohr, M., Kirsch, L. P., & Fotopoulou, A. (2017). The soothing function of touch: Affective touch reduces feelings of social exclusion. *Scientific Reports*, *7*(1), 13516. https://doi.org/10.1038/s41598-017-13355-7

Xu, X., Zuo, X., Wang, X., & Han, S. (2009). Do you feel my pain? Racial group membership modulates empathic neural responses. *The Journal of Neuroscience, 29*(26), 8525–8529.

Yu, X., Fumoto, M., Nakatani, Y., Sekiyama, T., Kikuchi, H., Seki, Y., ... Arita, H. (2011). Activation of the anterior prefrontal cortex and serotonergic system is associated with improvements in mood and EEG changes induced by Zen meditation practice in novices. *International Journal of Psychophysiology*, *80*(2), 103–111.

Affective function of touch and the neurophysiological mechanism

YANG yi, LI dong, CUI qian, JIANG zhongqing

(College of Psychology, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Touch is an important sensory channel for individuals to explore the external world, and its affective function plays an important role in maintaining social bonding and promoting interpersonal communication. Tactile action itself can directly convey distinct emotions, and it also promotes the cross-modality emotional processing by enhancing attention and sharpening social evaluation of emotional cues. At neurophysiological level, C-tactile-mediated affective tactile stimulation project in spinothalamic tract (STT) pathway (the spinal signaling of orofacial C-fiber mediated affective touch is still unclear), bypass the primary somatosensory cortex, directly project to the insular cortex, and then process in the amygdala, medial prefrontal cortex (mPFC), posterior superior temporal sulcus (pSTS) and other core areas of the “social brain” neural network. Future research should pay more attention to the interpersonal dependence, cultural uniqueness, and stimulus standardization of affective touch, and try to reveal the relevance and independence between the two tactile sub-systems at neural level.

Key words: interpersonal touch, C-tactile, emotion, cross-modality, neurophysiological mechanism